

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(11) 041920

(13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.12.15

(21) Номер заявки
202191054

(22) Дата подачи заявки
2019.11.19

(51) Int. Cl. C12P 1/04 (2006.01)
C10L 3/08 (2006.01)
C10J 3/00 (2006.01)

(54) ИНТЕГРАЦИЯ ФЕРМЕНТАЦИИ И ГАЗИФИКАЦИИ

(31) 62/769,043; 62/779,696

(32) 2018.11.19; 2018.12.14

(33) US

(43) 2021.08.06

(86) PCT/US2019/062217

(87) WO 2020/106722 2020.05.28

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ЛАНЦАТЕК, ИНК. (US)

(72) Изобретатель:
Конрадо Роберт Джон, Гао Аллан
Хейминг (US)

(74) Представитель:
Хмара М.В. (RU)

(56) US-A1-20110138684
US-A1-20180141000

PARDO-PLANAS, O. et al., "Process simulation of ethanol production from biomass gasification and syngas fermentation", Bioresource technology, 2017.12, Vol. 245(Pt. A), pages 925-932, abstract; figure 1

US-A1-20170218404

US-A1-20150353965

(57) Изобретение обеспечивает интеграцию процесса ферментации газа с процессом газификации, посредством чего выходящий поток после процесса ферментации газа рециркулируют в процесс газификации. Изобретение выполнено с возможностью рециркуляции одного или более выходящих потоков, содержащих биогаз, образующийся в процессе очистки сточных вод, остаточный газ, образующийся в процессе ферментации, неиспользованный синтез-газ, образующийся в процессе газификации, микробную биомассу, образующуюся в процессе ферментации, микробную биомассу, образующуюся в процессе очистки сточных вод, неочищенный этанол, полученный в процессе выделения продукта, сивушное масло, полученное в процессе выделения продукта, воду, обедненную микробной биомассой, сточные воды, образующиеся в процессе ферментации, и осветленную воду, полученную в процессе очистки сточных вод, в процесс газификации.

B1

041920

041920

B1

Область техники

Данное изобретение относится к способам улучшения интеграции ферментации газа с газификацией. В частности, данное изобретение относится к рециркуляции одного или более выходящих потоков после процесса ферментации газа в процесс газификации.

Уровень техники

По мере увеличения мирового населения отходы, производимые этим населением, становятся все более серьезной проблемой. Одним из решений утилизации отходов является газификация. Газификация представляет собой процесс преобразования органических или ископаемых топливных углеродистых материалов в синтез-газ, содержащий монооксид углерода, диоксид углерода и водород. Газификация выгодно снижает количество отходов, которые попадают на свалку, и производит продукт, синтез-газ, который можно преобразовать в полезные продукты с помощью одного или более последующих процессов.

Синтез-газ, полученный путем газификации, можно использовать в ряде процессов, включая синтез Фишера-Тропша. Синтез Фишера-Тропша обеспечивает каталитическое гидрирование монооксида углерода для получения различных продуктов, включая углеводороды, спирты или другие кислородсодержащие углеводороды. Однако каталитические слои в синтезе Фишера-Тропша особенно чувствительны к различным компонентам, которые могут находиться в потоке синтез-газа, в зависимости от исходного сырья для газификации. Одним из таких компонентов является сера. Если серу не удалить из потока синтез-газа перед введением в синтез Фишера-Тропша, сера может дезактивировать катализаторы, необходимые для реакции Фишера-Тропша. Таким образом, чтобы получить подходящий газ для синтеза Фишера-Тропша, часто требуется технология масштабной очистки газа.

Одной из альтернатив синтезу Фишера-Тропша является ферментация газа. Ферментация газа обеспечивает биологическую фиксацию газов, включая синтез-газ, в один или более продуктов. Ферментация газа обладает рядом преимуществ по сравнению с синтезом Фишера-Тропша. Во-первых, в синтезе Фишера-Тропша используются высокие температуры (150-350°C), повышенные давления (30 бар) и гетерогенные катализаторы, такие как кобальт, рутений и железо. Для сравнения, ферментация газа происходит при температуре около 37°C и часто проводится при атмосферном давлении, что дает значительную экономию энергии и затрат по сравнению с синтезом Фишера-Тропша. Кроме того, синтез Фишера-Тропша требует относительно фиксированного соотношения $H_2:CO$ в синтез-газе около 2:1, тогда как ферментация газа способна получать и использовать широкий диапазон субстратов с различными соотношениями $H_2:CO$.

Процесс очистки сточных вод часто сочетается как с синтезом Фишера-Тропша, так и с процессом ферментации газа. Типичный процесс очистки сточных вод может включать в себя несколько отдельных этапов очистки, таких как удаление продукта, анаэробное сбраживание и биологическое окисление. Такие этапы очистки предназначены для удаления различных компонентов и получения потока очищенной воды. Удаление этих компонентов часто приводит к образованию значительного количества твердых отходов. При очистке сточных вод необходимо учитывать, что делать с твердыми отходами, образующимися в результате процесса.

Помимо образования твердых отходов, в процессе очистки сточных вод, в частности на этапе анаэробного сбраживания, образуется биогаз. Биогаз обычно содержит около 60% метана и 40% диоксида углерода. Комбинированное производство тепловой и электрической энергии, или когенерация биогаза, (CHP; combined heat and power) представляет собой распространенный способ использования биогаза, обычно это происходит в работающем на биогазе двигателе, где биогаз сжигается для получения электроэнергии и полезного тепла. Однако биогаз содержит различные компоненты, которые необходимо удалить перед его использованием в работающем на биогазе двигателе. Один из таких компонентов представляет собой водяной пар. Биогаз содержит водяной пар, вырабатываемый с помощью способа получения сырья. Перед использованием биогаза в работающем на биогазе двигателе содержание водяного пара должно быть снижено до допустимого уровня, чтобы избежать проблем со сгоранием. Биогаз также содержит различные соединения серы, такие как сероводород, который при сгорании в двигателе может конденсироваться с водой с образованием серной кислоты. Серная кислота имеет высокую коррозионную активность и может повредить работающий на биогазе двигатель. Чтобы избежать образования серной кислоты, может быть необходимым удаление сероводорода. Затраты, связанные с этими процессами удаления, необходимо учитывать при принятии решений о способах обработки биогаза, образующегося в процессе очистки сточных вод.

Соответственно, остается потребность в интегрированной системе, которая эффективно объединяет газификацию, ферментацию газа и очистку сточных вод эффективным способом таким образом, чтобы эффективно обращаться с выходящими потоками, образующимися в ходе процесса.

Сущность изобретения

Изобретение обеспечивает способ улучшения интеграции процесса ферментации газа с процессом газификации, посредством которого по меньшей мере часть одного или более выходящих потоков в результате процесса ферментации газа выделяют и направляют в процесс газификации. В конкретных вариантах реализации выходящий поток выбран из группы, состоящей из биогаза, образующегося в про-

цессе очистки сточных вод, остаточного газа, образующегося в процессе ферментации, неиспользованного синтез-газа, образующегося в процессе газификации, микробной биомассы, образующейся в процессе ферментации, микробной биомассы, образующейся в процессе очистки сточных вод, неочищенного этанола, получаемого в процессе выделения продукта, сивушного масла, получаемого в процессе выделения продукта, воды, обедненной микробной биомассой, сточных вод, образующихся в процессе ферментации, и осветленной воды, получаемой в процессе очистки сточных вод.

В одном или более предпочтительных вариантах реализации в процессе ферментации используют один или более C1-фиксирующих микроорганизмов, подходящих для ферментации C1-содержащего газообразного субстрата, такого как синтез-газ, полученный посредством газификации. В тех вариантах реализации, в которых C1-фиксирующий микроорганизм выбран из группы, состоящей из *Moorella*, *Clostridium*, *Ruminococcus*, *Acetobacterium*, *Eubacterium*, *Butyrivibrio*, *Oxobacter*, *Methanosarcina* и *Desulfotomaculum*. Предпочтительно микроорганизм является представителем рода *Clostridium*. В определенных случаях микроорганизм представляет собой *Clostridium autoethanogenum*.

В различных вариантах реализации по меньшей мере часть по меньшей мере одного выходящего потока подвергают газификации для получения потока синтез-газа. В определенных случаях множество выходящих потоков газифицируют для получения потока синтез-газа. Предпочтительно по меньшей мере два выходящих потока газифицируют для получения потока синтез-газа. Предпочтительно по меньшей мере один выходящий поток из процесса ферментации и по меньшей мере один выходящий поток из процесса очистки сточных вод газифицируют для получения потока синтез-газа. По меньшей мере часть потока синтез-газа предпочтительно направляют в процесс ферментации для получения одного или более продуктов и/или побочных продуктов.

В конкретных вариантах реализации микробную биомассу, полученную в процессе ферментации, направляют в процесс газификации. В различных случаях по меньшей мере часть микробной биомассы, полученной в процессе ферментации, сушат перед подачей в процесс газификации. В определенных случаях по существу всю микробную биомассу, полученную в процессе ферментации, сушат перед подачей в процесс газификации.

В конкретных случаях по существу всю микробную биомассу, полученную в процессе ферментации, либо повторно используют в процессе ферментации после получения продукта, либо обрабатывают с помощью процесса очистки сточных вод, и/или направляют в процесс газификации для получения синтез-газа. В определенных случаях в процесс газификации поступает по меньшей мере 20%, по меньшей мере 30%, по меньшей мере 40%, по меньшей мере 50%, по меньшей мере 60%, по меньшей мере 70%, по меньшей мере 80%, по меньшей мере 90% микробной биомассы или по существу вся микробная биомасса из процесса ферментации.

В конкретных вариантах реализации микробную биомассу, полученную в процессе очистки сточных вод, направляют в процесс газификации. Микробную биомассу, образующуюся в процессе очистки сточных вод, могут, по меньшей мере частично, получать в результате процесса с использованием анаэробного биореактора в процессе очистки сточных вод. В различных случаях по меньшей мере часть микробной биомассы, полученную в процессе очистки сточных вод, сушат перед подачей в процесс газификации. В определенных случаях по существу всю микробную биомассу, полученную в процессе очистки сточных вод, сушат перед подачей в процесс газификации.

В определенных вариантах реализации по меньшей мере часть воды, обедненной микробной биомассой в процессе ферментации, направляют в процесс газификации. В различных случаях воду, обедненную микробной биомассой, направляют в процесс газификации для увеличения соотношения $H_2:CO$ в потоке синтез-газа. Предпочтительно по меньшей мере часть воды, обедненной микробной биомассой, направляют в процесс газификации для увеличения соотношения $H_2:CO$ в потоке синтез-газа по меньшей мере до 2:1, по меньшей мере 3:1 или по меньшей мере 4:1. Направление воды, обедненной микробной биомассой, в процесс газификации, в котором соотношение $H_2:CO$ в потоке синтез-газа увеличивается, может привести к увеличению селективности по этанолу, полученному в процессе ферментации газа, снижению селективности по получению микробной биомассы, снижению потребления воды в результате реакции ферментации и/или уменьшению отводимого потока в процессе очистки сточных вод.

В определенных вариантах реализации по меньшей мере часть сточных вод, образующихся в процессе ферментации, направляют в процесс газификации. Эти сточные воды могут содержать один или более продуктов и/или побочных продуктов, включая, без ограничений, микробную биомассу. В различных случаях сточные воды, образующиеся в процессе ферментации, направляют в процесс газификации для повышения соотношения $H_2:CO$ в потоке синтез-газа. Предпочтительно по меньшей мере часть сточных вод, образующихся в процессе ферментации, направляют в процесс газификации для увеличения соотношения $H_2:CO$ в потоке синтез-газа до по меньшей мере 2:1, по меньшей мере 3:1 или по меньшей мере 4:1. Направление сточных вод, образующихся в процессе ферментации, в процесс газификации, в котором соотношение $H_2:CO$ в потоке синтез-газа увеличивается, может привести к увеличению селективности по этанолу, полученному в процессе ферментации газа, снижению селективности по получению микробной биомассы, снижению потребления воды в результате реакции ферментации и/или уменьшению отводимого потока в процессе очистки сточных вод.

В определенных вариантах реализации по меньшей мере часть осветленной воды, получаемой в процессе очистки сточных вод, направляют в процесс газификации. В различных случаях осветленную воду, получаемую в процессе очистки сточных вод, направляют в процесс газификации для повышения соотношения $H_2:CO$ в потоке синтез-газа. Предпочтительно по меньшей мере часть осветленной воды, получаемой в процессе очистки сточных вод, направляют в процесс газификации для увеличения соотношения $H_2:CO$ в потоке синтез-газа по меньшей мере до 2:1, по меньшей мере 3:1 или по меньшей мере 4:1. Направление осветленной воды, получаемой в процессе очистки сточных вод, в процесс газификации, в котором соотношение $H_2:CO$ в потоке синтез-газа увеличивается, может привести к увеличению селективности по этанолу, полученному в процессе ферментации газа, снижению селективности по получению микробной биомассы, снижению потребления воды в результате реакции ферментации и/или уменьшению отводимого потока в процессе очистки сточных вод.

Предпочтительно по меньшей мере часть по меньшей мере одного выходящего потока из процесса ферментации и/или процесса очистки сточных вод, заменяют по меньшей мере частью технологической воды, необходимой для процесса газификации. В определенных случаях количество технологической воды, необходимой для процесса газификации, снижают по меньшей мере на 45%. По меньшей мере в одном варианте количество технологической воды, необходимой для процесса газификации, снижают на 45-100%. В определенных вариантах реализации количество технологической воды, необходимой для процесса газификации, снижают на 45-75%, 55-75%, 65-75%, 55-100%, 65-100% или 75-100%.

В определенных случаях по меньшей мере часть по меньшей мере одного выходящего потока вводят в поток синтез-газа, полученный в процессе газификации, для снижения температуры потока синтез-газа. Предпочтительно выходящий поток, вводимый в поток синтез-газа, полученный в процессе газификации, выбирают из группы, состоящей из: воды, обедненной микробной биомассой, сточных вод, образующихся в процессе ферментации, и осветленной воды из установки для очистки сточных вод.

Предпочтительно температуру потока синтез-газа снижают по меньшей мере на 100°C. По меньшей мере в одном варианте реализации температура потока синтез-газа, выходящего из процесса газификации, составляет от 800 до 1200°C. Предпочтительно температуру потока синтез-газа снижают в диапазоне температур, подходящем для дальнейшей очистки газа и/или ферментации. В различных случаях введение по меньшей мере одного выходящего потока в поток синтез-газа выполняют для удаления по меньшей мере одной частицы из потока синтез-газа.

В определенных случаях поток синтез-газа частично подавляют. Предпочтительно поток синтез-газа частично подавляют путем введения одного или более выходящих потоков в поток синтез-газа, причем один или более выходящих потоков выбирают из группы, состоящей из воды, обедненной микробной биомассой, сточных вод, образующихся в процессе ферментации, и осветленной воды из установки для очистки сточных вод. В различных вариантах реализации частичное подавление потока синтез-газа снижает температуру потока синтез-газа до 700-800°C. В различных вариантах реализации для этого снижения температуры требуется приблизительно 1,2 т технологической воды на 10000 Н·м³ подавленного синтез-газа, начиная с 1000°C. Предпочтительно по меньшей мере 20%, по меньшей мере 30%, по меньшей мере 40%, по меньшей мере 50%, по меньшей мере 60%, по меньшей мере 70%, по меньшей мере 80%, по меньшей мере 90% технологической воды или по существу всю эту технологическую воду заменяют путем введения одного или более выходящих потоков в поток синтез-газа.

В определенных случаях поток синтез-газа полностью подавляют. Предпочтительно поток синтез-газа полностью подавляют путем введения одного или более выходящих потоков в поток синтез-газа, причем один или более выходящих потоков выбирают из группы, состоящей из воды, обедненной микробной биомассой, сточных вод, образующихся в процессе ферментации, и осветленной воды из установки для очистки сточных вод. В различных вариантах реализации полное подавление потока синтез-газа снижает температуру потока синтез-газа менее чем до 300°C. В различных вариантах реализации для этого снижения температуры требуется приблизительно 4 т технологической воды на 10000 Н·м³ подавленного синтез-газа, начиная с 1000°C. Предпочтительно по меньшей мере 20%, по меньшей мере 30%, по меньшей мере 40%, по меньшей мере 50%, по меньшей мере 60%, по меньшей мере 70%, по меньшей мере 80%, по меньшей мере 90% технологической воды или по существу всю эту технологическую воду заменяют путем введения одного или более выходящих потоков в поток синтез-газа.

В конкретных вариантах реализации по меньшей мере часть биогаза, образующегося в процессе очистки сточных вод, направляют в процесс газификации. Этот биогаз может содержать один или более компонентов, выбранных из группы, состоящей из метана, диоксида углерода, монооксида углерода, аммиака и соединения серы. В различных случаях это соединение серы представляет собой сероводород. По меньшей мере в одном варианте реализации биогаз содержит около 60% метана и около 40% диоксида углерода. По меньшей мере в одном варианте реализации биогаз содержит около 65% метана и около 35% диоксида углерода.

В конкретных вариантах реализации по меньшей мере часть биогаза, образующегося в процессе очистки сточных вод, используется в качестве источника тепла. Предпочтительно по меньшей мере часть биогаза, образующегося в процессе очистки сточных вод, используют в качестве источника нагрева в

процессе газификации. В различных случаях по меньшей мере часть биогаза, направляемого в процесс газификации, используют в качестве источника нагрева для плавления по меньшей мере части шлака, образующегося в процессе газификации. В одном или более вариантах реализации биогаз, получаемый в процессе очистки сточных вод, направляют в процесс удаления определенных веществ перед отправкой в процесс газификации. В различных случаях процесс удаления включает один или более модулей удаления, способных удалять, преобразовывать и/или снижать количество по меньшей мере одного компонента в потоке биогаза. Предпочтительно в процессе удаления удаляют по меньшей мере часть по меньшей мере одного соединения серы из потока биогаза перед направлением потока биогаза в процесс газификации.

В конкретных вариантах реализации по меньшей мере часть метана в биогазе подвергается риформингу с получением CO и H_2 после прохождения газификации в процессе газификации. В различных случаях метан вступает в реакцию с влагой, содержащейся в синтез-газе, с получением монооксида углерода и водорода.

В конкретных вариантах реализации по меньшей мере часть остаточного газа, образующегося в процессе ферментации, неиспользованного синтез-газа, получаемого в процессе газификации, неочищенного этанола, получаемого в процессе выделения продукта и/или сивушного масла, получаемого в процессе выделения продукта, используют в качестве источника нагрева. Предпочтительно по меньшей мере часть по меньшей мере одного из этих выходящих потоков используют в качестве источника нагрева в процессе газификации. В различных случаях по меньшей мере часть по меньшей мере одного из этих выходящих потоков направляют в процесс газификации для использования в качестве источника нагрева для плавления по меньшей мере части шлака, образующегося в процессе газификации. В одном или более вариантах реализации эти выходящие потоки обрабатывают в процессе удаления перед отправкой на процесс газификации. В различных случаях процесс удаления включает один или более модулей удаления, способных удалять, преобразовывать и/или снижать количество по меньшей мере одного компонента в выходящем потоке.

Помимо направления по меньшей мере части осветленной воды из процесса очистки сточных вод в процесс газификации, по меньшей мере часть осветленной воды, образующейся в процессе очистки сточных вод, может быть направлена в процесс ферментации. В конкретных случаях по существу всю осветленную воду, образующуюся в процессе очистки сточных вод, рециркулируют или в процесс газификации, и/или в процесс ферментации. В определенных случаях в процесс газификации поступает по меньшей мере 10%, по меньшей мере 20%, по меньшей мере 30%, по меньшей мере 40%, по меньшей мере 50%, по меньшей мере 60%, по меньшей мере 70%, по меньшей мере 80%, по меньшей мере 90% осветленной воды или по существу вся осветленная вода, получаемая в процессе очистки сточных вод. В определенных случаях в процесс ферментации поступает по меньшей мере 10%, по меньшей мере 20%, по меньшей мере 30%, по меньшей мере 40%, по меньшей мере 50%, по меньшей мере 60%, по меньшей мере 70%, по меньшей мере 80%, по меньшей мере 90% осветленной воды или по существу вся осветленная вода, получаемая в процессе очистки сточных вод.

Предпочтительно в процессе ферментации используют по меньшей мере часть синтез-газа, получаемого в процессе газификации, для получения одного или более видов топлива или химических веществ. По меньшей мере один из продуктов, получаемых в процессе ферментации, может быть выбран из группы, включающей этанол, ацетат, бутанол, бутират, 2,3-бутандиол, 1,3-бутандиол, лактат, бутен, бутадиев, метилэтилкетон, этилен, ацетон, изопропанол, липиды, 3-гидропропионат, терпены (включая, без ограничения, изопрен), жирные кислоты, 2-бутанол, изобутилен, изобутанол, 1,2-пропандиол, 1-пропанол и C_6 - C_{12} -спирты.

В одном или более вариантах реализации по меньшей мере часть микробной биомассы, получаемой в процессе ферментации, может быть преобразована в белок одноклеточных (SCP; single cell protein).

В различных случаях по меньшей мере часть одного или более видов топлива или химических веществ отправляют в процесс вторичного преобразования. Предпочтительно в процессе вторичного преобразования дополнительно преобразуют по меньшей мере один или более видов топлива или химических веществ по меньшей мере в один компонент дизельного топлива, топлива для реактивных двигателей, бензина, пропилена, нейлона 6-6, резины и/или смол.

В одном или более вариантах реализации синтез-газ, получаемый в процессе газификации, направляют в процесс удаления перед направлением в процесс ферментации. В различных случаях процесс удаления включает один или более модулей удаления, способных удалять, преобразовывать и/или снижать количество ингибиторов микробов и/или ингибиторов катализаторов, содержащихся в потоке синтез-газа.

Предпочтительно по меньшей мере один компонент, удаленный, преобразованный или сниженный в потоке синтез-газа в процессе удаления, выбран из группы, включающей соединения серы, ароматические соединения, алкины, алкены, алканы, олефины, соединения азота, фосфорсодержащие соединения, твердые примеси, твердые частицы, кислород, галогенированные соединения, кремнийсодержащие соединения, карбонилы, металлы, спирты, сложные эфиры, кетоны, пероксиды, альдегиды, эфиры и смолы.

Предпочтительно по меньшей мере один модуль удаления может быть выбран из группы, вклю-

чающей модуль гидролиза, модуль удаления кислого газа, модуль дезоксигенирования, модуль каталитического гидрирования, модуль удаления частиц, модуль удаления хлорида, модуль удаления смол и модуль очистки от цианистого водорода. В различных случаях процесс удаления включает по меньшей мере два модуля удаления.

Данное изобретение может дополнительно обеспечивать увеличение и/или снижение давления потока синтез-газа в одной или более точках осуществления процесса.

Краткое описание графических материалов

На фиг. 1 показана схема интеграции процесса, изображающая интеграцию процесса газификации, процесса ферментации газа, процесса выделения продукта и процесса очистки сточных вод в соответствии с одним аспектом данного изобретения.

На фиг. 2 показана схема интеграции процесса, представленная на фиг. 1, дополнительно включающая процесс удаления между процессом газификации и процессом ферментации газа, в соответствии с одним аспектом данного изобретения.

На фиг. 3 показана схема интеграции процесса, представленная на фиг. 2, дополнительно включающая процесс удаления после процесса очистки сточных вод, в соответствии с одним аспектом данного изобретения.

Подробное описание изобретения

Авторы изобретения определили, что интеграция процесса ферментации и процесса очистки сточных вод с процессом газификации, посредством которой выходящий поток ниже по потоку от процесса ферментации, рециркулируется в процесс газификации и способен обеспечить существенные преимущества для эффективности одного или более процессов.

Определения

Если не указано иное, следующие термины, используемые в данном описании, имеют приведенные ниже значения.

Термины "повышение эффективности", "повышенная эффективность" и т.п., когда они используются в отношении процесса ферментации, включают, без ограничений, увеличение одной или более скоростей роста микроорганизмов, катализирующих ферментацию, роста и/или скорости получения продукта при повышенных концентрациях продукта, увеличение объема требуемого продукта, полученного на объем потребляемого субстрата, увеличение скорости получения или уровня получения требуемого продукта и относительного содержания требуемого полученного продукта по сравнению с другими побочными продуктами ферментации, снижение количества воды, потребляемой в процессе, и снижение количества энергии, используемой в процессе.

Термины "повышение эффективности", "повышенная эффективность" и т.п., когда они используются в отношении процесса газификации, включают, без ограничений, увеличение количества синтез-газа, получаемого в процессе, снижение количества подаваемой воды, используемой в процессе, оптимизацию потока синтез-газа для ферментации газа, снижение выбросов парниковых газов и снижение количества энергии, включая, без ограничений, внешнее топливо, используемое в процессе.

Термины "повышение эффективности", "повышенная эффективность" и т.п., когда они используются в отношении процесса очистки сточных вод, включают, без ограничений, сокращение времени удержания воды в процессе, увеличение использования биогаза, образующегося в процессе, снижение количества выходящего потока, направляемого в процесс очистки сточных вод, снижение объема, необходимого для процесса, снижение потребности в отделении аммиака в процессе и снижение количества энергии, используемой в процессе.

Термины "ферментация", "ферментация газа" и т.п. следует интерпретировать как процесс, при котором вводят один или более субстратов, таких как синтез-газ, получаемый посредством газификации, и получают один или более продуктов путем использования одного или более C1-фиксирующих микроорганизмов. Предпочтительно процесс ферментации включает в себя использование одного или более биореакторов. Процесс ферментации можно описать либо как "периодический", либо как "непрерывный". "Периодическую ферментацию" используют для описания процесса ферментации, при котором биореактор заполняют сырьем, например источником углерода, вместе с микроорганизмами, причем продукты остаются в биореакторе до завершения ферментации. В "периодическом" процессе после завершения ферментации продукты извлекают, а биореактор очищают перед запуском следующей "порции". "Непрерывную ферментацию" используют для описания процесса ферментации, причем процесс ферментации продлевается на более длительные периоды времени, а продукт и/или метаболит извлекают во время ферментации. Предпочтительно процесс ферментации является непрерывным.

Термин "очистка сточных вод" и т.п. следует толковать как процесс, который отделяет компоненты от выходящего потока из процесса ферментации с получением осветленной воды. Процесс очистки сточных вод может включать, без ограничения, один или более анаэробных биореакторов с различными периодами пребывания и один или более процессов отгонки аммиака.

Термин "газификация" и т.п. следует толковать как процесс, который преобразует углеродистые материалы на основе органических или ископаемых видов топлива в монооксид углерода (CO), водород (H₂) и диоксид углерода (CO₂). Процесс газификации может включать в себя различные технологии,

включая, без ограничений, противоточные газогенераторы с неподвижным слоем, прямоточные газогенераторы с неподвижным слоем, реакторы с псевдоожиженным слоем, газогенераторы с газификацией в потоке и плазменные газогенераторы. В процессе газификации могут использовать любое сырье, из которого можно получить поток синтез-газа. Термин "процесс газификации" охватывает сам газогенератор вместе с отдельными операциями, связанными с газификацией, включая источник нагрева для газогенератора и процессы подавления синтез-газа.

Термины "поток синтез-газа", "поток синтеза" и т.п. относятся к газообразному субстрату, получаемому в результате процесса газификации. Поток синтез-газа должен в первую очередь состоять из монооксида углерода (CO), водорода (H₂) и диоксида углерода (CO₂). Состав потока синтез-газа может значительно варьироваться в зависимости от исходного сырья и задействованного процесса газификации; однако типичный состав синтез-газа включает от 30 до 60% монооксида углерода (CO), от 25 до 30% водорода (H₂), от 0 до 5% метана (CH₄), от 5 до 15% диоксида углерода (CO₂), а также большее или меньшее количество водяного пара, меньшие количества соединений серы, сероводорода (H₂S), карбонилсульфида (COS), аммиака (NH₃) и других микропримесей.

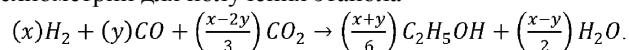
В конкретных вариантах реализации наличия водорода приводит к улучшению общей эффективности получения спирта в процессе ферментации.

Состав синтез-газа может быть улучшен для обеспечения требуемого или оптимального соотношения H₂:CO:CO₂. Состав синтез-газа можно улучшить, регулируя исходное сырье, подаваемое в процесс газификации. Требуемое соотношение H₂:CO:CO₂ зависит от требуемого продукта ферментации, получаемого в процессе ферментации. Для этанола оптимальное соотношение H₂:CO:CO₂ является следующим:

$$(x):(y):\left(\frac{x-2y}{3}\right),$$

где $x > 2y$,

для соответствия стехиометрии для получения этанола

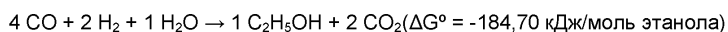
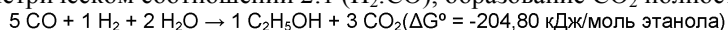


Осуществление процесса ферментации в присутствии водорода имеет дополнительное преимущество, заключающееся в уменьшении количества CO₂, получаемого в процессе ферментации. Например, газообразный субстрат, содержащий минимальное количество H₂, обычно превращается в этанол и CO₂ со следующей стехиометрией: $[6CO + H_2O \rightarrow C_2H_5OH + CO_2]$. По мере увеличения количества водорода, используемого C1-фиксирующими бактериями, количество получаемого CO₂ уменьшается [например, $CO + H_2 \rightarrow C_2H_5OH + H_2O$].

Когда CO является единственным источником углерода и энергии для производства этанола, часть углерода теряется на образование CO₂ согласно уравнению:



При увеличении количества H₂, доступного в субстрате, количество образующегося CO₂ уменьшается. При стехиометрическом соотношении 2:1 (H₂:CO), образование CO₂ полностью исключено.



"Поток" относится к любому субстрату, который можно направлять, например, из одного процесса в другой, из одного модуля в другой и/или из одного процесса в устройство улавливания углерода.

Используемый в данном документе термин "реагенты" относится к веществу, которое принимает участие и подвергается изменению во время химической реакции. В конкретных вариантах реализации изобретения реагенты включают, без ограничений, CO и/или H₂.

Используемый в данном документе термин "ингибиторы микробов" относится к одному или более компонентам, которые замедляют или препятствуют конкретной химической реакции или иному процессу с участием микроорганизмов. В конкретных вариантах реализации ингибиторы микроорганизмов включают, без ограничений, кислород (O₂), цианистый водород (HCN), ацетилен (C₂H₂) и БТЭК (бензол, толуол, этилбензол, ксилол).

Используемые в данном документе "ингибитор катализатора", "ингибитор адсорбента" и т.п. относятся к одному или более веществам, которые снижают скорость или препятствуют химической реакции. В конкретных вариантах реализации изобретения ингибиторы катализаторов и/или адсорбентов могут включать, без ограничений, сероводород (H₂S) и карбонилсульфид (COS).

Термины "процесс удаления", "модуль удаления", "модуль очистки" и т.п. включают технологии, которые способны преобразовывать и/или удалять ингибиторы микроорганизмов и/или ингибиторы катализатора из газового потока. В конкретных вариантах реализации ингибиторы катализатора должны удаляться расположенным выше по потоку модулем удаления, чтобы предотвратить ингибирование одного или более катализаторов в находящемся ниже по потоку модуле удаления.

Используемые в данном документе термины "компоненты", "примеси" и т.п. относятся к ингибито-

рам микроорганизмов и/или ингибиторам катализаторов, которые могут находиться в газовом потоке. В конкретных вариантах реализации компоненты включают, без ограничения, соединения серы, ароматические соединения, алкины, алкены, алканы, олефины, соединения азота, фосфорсодержащие соединения, мелкие частицы, твердые примеси, твердые частицы, кислород, галогенированные соединения, кремнийсодержащие соединения, карбонилы, металлы, спирты, сложные эфиры, кетоны, пероксиды, альдегиды, эфиры и смолы.

Термины "очищенный газ", "очищенный поток" и т.п. относятся к потоку газа, который был пропущен по меньшей мере через один модуль удаления и в котором один или более компонентов были удалены и/или преобразованы.

Используемый в данном документе термин "улавливание углерода" относится к удалению соединений углерода, включая CO_2 и/или CO , из потока, содержащего CO_2 и/или CO , и либо:

преобразованию CO_2 и/или CO в продукты; либо

преобразованию CO_2 и/или CO в вещества, подходящие для долгосрочного хранения; либо

улавливанию CO_2 и/или CO в веществах, подходящих для долгосрочного хранения; либо комбинации этих процессов.

Термин "биореактор", "реактор" и т.п. включает устройство для ферментации, состоящее из одной или более емкостей и/или конструкций башенного типа или трубопроводов, которое включает в себя реактор непрерывного действия с перемешиванием (CSTR; Continuous Stirred Tank Reactor), реактор с иммобилизованными клетками (ICR; Immobilized Cell Reactor), реактор с орошаемым слоем (TBR; Immobilized Cell Reactor), барботажную колонну, газлифтный ферментер, статический смеситель, циркуляционный петлевой реактор, мембранный реактор, такой как мембранный биореактор с системой полых волокон (HFM BR; Hollow Fibre Membrane Bioreactor), или другую емкость или другое устройство, подходящее для контакта газ-жидкость. Биореактор предпочтительно выполнен с возможностью получения газообразного субстрата, содержащего CO или CO_2 или H_2 или их смесей. Реактор может содержать совокупность реакторов (ступеней), расположенных параллельно или последовательно. Например, реактор может содержать первый реактор выращивания, в котором культивируются бактерии, и второй реактор ферментации, в который можно подать ферментационный бульон из реактора выращивания и в котором можно получать большинство продуктов ферментации.

"Питательные среды" или "питательную среду" используют для описания среды бактериального роста. Предпочтительно в процессе ферментации используют питательную среду внутри биореактора. Как правило, этот термин относится к среде, содержащей питательные вещества и другие компоненты, подходящие для роста микробной культуры. Термин "питательное вещество" включает в себя любое вещество, которое может быть использовано в метаболическом пути микроорганизма. Типичные питательные вещества включают в себя калий, витамины группы В, следы металлов и аминокислоты.

Термин "ферментационный бульон" или "бульон" охватывает смесь компонентов, включая питательную среду и культуру, или один или более микроорганизмов. Предпочтительно в процессе ферментации используют ферментационный бульон для ферментации потока синтез-газа с образованием одного или более продуктов.

Используемый в данном документе термин "кислота" включает в себя как карбоновые кислоты, так и связанный с ними карбоксилат-анион, такой как смесь свободной уксусной кислоты и ацетата, присутствующая в ферментационном бульоне, как описано в данном документе. Соотношение молекулярной кислоты и карбоксилата в ферментационном бульоне зависит от pH системы. Кроме того, термин "ацетат" включает как соль уксусной кислоты, так и смесь молекулярной или свободной уксусной кислоты и соли уксусной кислоты, такую как смесь соли уксусной кислоты и свободной уксусной кислоты, присутствующую в ферментационном бульоне, как описано в этом документе.

Термин "требуемый состав" используют для обозначения требуемого уровня и типов компонентов в веществе, таком как, например, газовый поток, включая, без ограничений, синтез-газ. В частности, считается, что газ имеет "требуемый состав", если он содержит конкретный компонент (например, CO , H_2 и/или CO_2) и/или содержит конкретный компонент в конкретной пропорции и/или не содержит конкретный компонент (например, компонент, вредный для микроорганизмов) и/или не содержит конкретный компонент в конкретной пропорции. Можно учитывать более одного компонента при определении того, имеет ли газовый поток требуемый состав.

Если из контекста не следует иное, выражения "ферментация", "процесс ферментации" или "реакция ферментации" и т.п. в данном документе включают как фазу выращивания, так и фазу биосинтеза газообразного субстрата.

"Микроорганизм" представляет собой микроскопический организм, в частности бактерию, архею, вирус или грибок. Микроорганизм согласно данному изобретению обычно представляет собой бактерию. Подразумевается, что используемый в данном документе термин "микроорганизм" включает в себя "бактерию". Следует отметить, что термин "микроорганизм" и термин "бактерии" используются взаимозаменяемо по всему документу.

"Родительский микроорганизм" представляет собой микроорганизм, используемый для получения микроорганизма по данному изобретению. Родительский микроорганизм может представлять собой

встречающийся в природе микроорганизм (например, микроорганизм дикого типа) или микроорганизм, который был предварительно модифицирован (например, мутантный или рекомбинантный микроорганизм). Микроорганизм согласно данному изобретению может быть модифицирован для экспрессии или сверхэкспрессии одного или более ферментов, которые не были экспрессированы или сверхэкспрессированы в родительском микроорганизме. Аналогично, микроорганизм согласно данному изобретению может быть модифицирован, чтобы содержать один или более генов, которые не содержались в родительском микроорганизме. Микроорганизм согласно данному изобретению также может быть модифицирован, чтобы не экспрессировать или экспрессировать более низкие количества одного или более ферментов, которые были экспрессированы в родительском микроорганизме. В одном варианте реализации изобретения родительский микроорганизм представляет собой *Clostridium autoethanogenum*, *Clostridium ljungdahlii* или *Clostridium ragsdalei*. В предпочтительном варианте реализации родительский микроорганизм представляет собой *Clostridium autoethanogenum* LZ1561, который был депонирован 7 июня 2010 г. в Немецкой коллекции микроорганизмов и клеточных культур (DSMZ; Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH), находящейся по адресу: Inhoffenstraß 7B, D-38124 Braunschweig, Германия, от 7 июня 2010 г., в соответствии с условиями Будапештского договора о международном признании депонирования микроорганизмов для целей патентной процедуры, под регистрационным номером DSM23693. Этот штамм описан в международной заявке на патент № PCT/NZ2011/000144, опубликованной как WO 2012/015317.

Термин "происходящий от" указывает на то, что нуклеиновая кислота, белок или микроорганизм модифицирован или адаптирован из другой (например, родительского или дикого типа) нуклеиновой кислоты, белка или микроорганизма для получения новой нуклеиновой кислоты, белка или микроорганизма. Такие модификации или адаптации обычно включают в себя вставку, делецию, мутацию или замену нуклеиновых кислот или генов. Как правило, микроорганизм согласно данному изобретению происходит от родительского микроорганизма. В одном варианте реализации микроорганизм согласно данному изобретению происходит от *Clostridium autoethanogenum*, *Clostridium ljungdahlii* или *Clostridium ragsdalei*. В предпочтительном варианте реализации микроорганизм согласно данному изобретению происходит от *Clostridium autoethanogenum* LZ1561, который депонирован под регистрационным номером DSM23693.

Термин "Вуда-Льонгдала" относится к пути фиксации углерода Вуда-Льонгдала, описанном, например, в Ragsdale, *Biochim Biophys Acta*, 1784:1873-1898, 2008. "Микроорганизмы Вуда-Льонгдала", как и ожидалось, относятся к микроорганизмам, содержащим путь Вуда-Льонгдала. Как правило, микроорганизм согласно данному изобретению содержит нативный путь Вуда-Льонгдала. В данном документе путь Вуда-Льонгдала может быть нативным, немодифицированным путем Вуда-Льонгдала или может быть путем Вуда-Льонгдала с некоторой степенью генетической модификации (например, сверхэкспрессией, гетерологичной экспрессией, нокаутом и т.д.), пока его используют для преобразования CO, CO₂ и/или H₂ в ацетил-КоА.

"C1" относится к молекуле, содержащей один атом углерода, например CO, CO₂, CH₄ или CH₃OH. "C1-оксигенат" относится к молекуле, содержащей один атом углерода, которая также содержит по меньшей мере один атом кислорода, например CO, CO₂ или CH₃OH. "Источник C1-углерода" относится к молекуле, содержащей один атом углерода, которая служит частичным или единственным источником углерода для микроорганизма согласно данному изобретению. Так, например, источник C1-углерода может содержать одно или более из CO, CO₂, CH₄, CH₃OH или CH₂O₂. Источник C1-углерода предпочтительно содержит одно или оба из CO и CO₂. "C1-фиксирующий микроорганизм" представляет собой микроорганизм, способный продуцировать один или более продуктов из источника C1-углерода. Как правило, микроорганизм согласно данному изобретению представляет собой C1-фиксирующую бактерию.

"Анаэроб" представляет собой микроорганизм, не требующий кислорода для роста. Анаэроб может реагировать отрицательно или даже погибнуть в присутствии кислорода выше определенного порогового значения. Тем не менее, некоторые анаэробы способны переносить низкие уровни кислорода (например, 0,000001-5% кислорода). Как правило, микроорганизм согласно данному изобретению представляет собой анаэроб.

"Ацетогены" представляют собой облигатно-анаэробные бактерии, использующие путь Вуда-Льонгдала в качестве своего основного механизма для сохранения энергии и синтеза ацетил-КоА и продуктов, полученных из ацетил-КоА, таких как ацетат (Ragsdale, *Biochim Biophys Acta*, 1784:1873-1898, 2008). В частности, ацетогены используют путь Вуда-Льонгдала в качестве (1) механизма для восстановительного синтеза ацетил-КоА из CO₂, (2) терминального электроноакцепторного, энергосберегающего процесса, (3) механизма для фиксации (ассимиляции) CO₂ при синтезе клеточного углерода (Drake, *Acetogenic Prokaryotes*, In: *The Prokaryotes*, 3rd edition, p. 354, New York, NY, 2006). Все встречающиеся в природе ацетогены являются C1-фиксирующими, анаэробными, автотрофными и неметанотрофными. Как правило, микроорганизм согласно данному изобретению представляет собой ацетоген.

"Этанологен" представляет собой микроорганизм, который продуцирует или способен продуцировать этанол. Как правило, микроорганизм согласно данному изобретению представляет собой

этанологен.

"Автотроф" представляет собой микроорганизм, способный расти в отсутствие органического углерода. Вместо него автотрофы используют неорганические источники углерода, такие как CO и/или CO₂. Как правило, микроорганизм согласно данному изобретению представляет собой автотроф.

"Карбоксидотроф" представляет собой микроорганизм, способный использовать CO в качестве единственного источника углерода и энергии. Как правило, микроорганизм согласно данному изобретению представляет собой карбоксидотроф.

"Метанотроф" представляет собой микроорганизм, способный использовать метан в качестве единственного источника углерода и энергии. В некоторых вариантах реализации микроорганизм согласно данному изобретению представляет собой метанотроф или происходит от метанотрофа. В других вариантах реализации микроорганизм согласно данному изобретению не представляет собой метанотроф или не происходит от метанотрофа.

"Субстрат" относится к источнику углерода и/или энергии для микроорганизма согласно данному изобретению. Обычно субстрат является газообразным и содержит источник C1-углерода, например CO, CO₂ и/или CH₄. Субстрат предпочтительно содержит источник C1-углерода в виде CO или CO + CO₂. Субстрат может дополнительно содержать другие неуглеродные компоненты, такие как H₂ или N₂.

Термин "со-субстрат" относится к веществу, которое, хотя и необязательно является первичным источником энергии и материала для синтеза продукта, может быть использовано для синтеза продукта при добавлении к другому субстрату, такому как первичный субстрат.

Состав субстрата может оказывать значительное влияние на эффективность и/или стоимость реакции. Например, присутствие кислорода (O₂) может понизить эффективность процесса анаэробной ферментации. В зависимости от состава субстрата может быть желательной обработка, очистка или фильтрация субстрата для удаления любых нежелательных загрязняющих примесей, таких как токсины, нежелательные компоненты или частицы пыли, и/или для увеличения концентрации требуемых компонентов.

В определенных вариантах реализации ферментацию проводят в отсутствие углеводных субстратов, таких как сахар, крахмал, лигнин, целлюлоза или гемицеллюлоза.

Микроорганизм согласно данному изобретению можно культивировать с потоком газа для получения одного или более продуктов. Так, например, микроорганизм согласно данному изобретению может продуцировать или может быть генетически сконструирован для продуцирования этанола (WO 2007/117157), ацетата (WO 2007/117157), бутанола (WO 2008/115080 и WO 2012/053905), бутирата (WO 2008/115080), 2,3-бутандиола (WO 2009/151342 и WO 2016/094334), лактата (WO 2011/112103), бутена (WO 2012/024522), бутадиена (WO 2012/024522), метилэтилкетона (2-бутанона) (WO 2012/024522 и WO 2013/185123), этилена (WO 2012/026833), ацетона (WO 2012/115527), изопропанола (WO 2012/115527), липидов (WO 2013/036147), 3-гидроксипропионата (3-HP) (WO 2013/180581), терпенов, включая изопрен (WO 2013/180584), жирных кислот (WO 2013/191567), 2-бутанола (WO 2013/185123), 1,2-пропандиола (WO 2014/0369152), 1-пропанола (WO 2014/0369152), продуктов, полученных из хоризмата (WO 2016/191625), 3-гидроксипропионата (WO 2017/066498) и 1,3-бутандиола (WO 2017/0066498). В некоторых вариантах реализации саму микробную биомассу можно рассматривать как продукт. Эти продукты могут быть дополнительно преобразованы для получения по меньшей мере одного компонента дизельного топлива, топлива для реактивных двигателей и/или бензина. Кроме того, микробная биомасса может быть подвергнута дальнейшей переработке для получения белка одноклеточных (SCP).

"Белок одноклеточных" (SCP) относится к микробной биомассе, которая может быть использована в богатых белками кормах и еде для людей и/или животных, часто заменяя традиционные источники белковых добавок, такие как соевые продукты или рыбная мука. Для получения белка одноклеточных или другого продукта способ может включать в себя дополнительные этапы разделения, переработки или обработки. Так, например, способ может включать в себя стерилизацию микробной биомассы, центрифугирование микробной биомассы и/или сушку микробной биомассы. В определенных вариантах реализации микробную биомассу сушат с помощью распылительной сушки или лопастной сушки. Способ также может включать в себя снижение содержания нуклеиновой кислоты в микробной биомассе с помощью любого способа, известного в данной области техники, поскольку потребление рациона с высоким содержанием нуклеиновой кислоты может привести к накоплению продуктов распада нуклеиновой кислоты и/или желудочно-кишечному расстройству. Белок одноклеточных может быть подходящим для кормления животных, таких как домашний скот или домашние питомцы. В частности, корм для животных может быть подходящим для кормления одного или более из крупного рогатого скота, молочного скота, свиней, овец, коз, лошадей, мулов, ослов, оленей, буйволов/бизонов, лам, альпак, северных оленей, верблюдов, бантенгов, гаялов, яков, кур, индюков, уток, гусей, перепелов, цесарок, сквобов/голубей, рыбы, креветок, ракообразных, котов, собак и грызунов. Состав корма для животных может быть адаптирован к потребностям в питании различных животных. Кроме того, процесс может включать в себя смешивание или комбинирование микробной биомассы с одним или более наполнителями.

"Наполнитель" может относиться к любому веществу, которое может быть добавлено в микробную

биомассу для улучшения или изменения формы, свойств или пищевой ценности корма для животных. Например, наполнитель может содержать одно или более из углеводов, клетчатки, жиров, белков, витаминов, минералов, воды, ароматических добавок, подсластителей, антиоксидантов, ферментов, консервантов, пробиотиков или антибиотиков. В некоторых вариантах реализации наполнитель может представлять собой сено, солому, силос, злаки, масла или жиры или другой растительный материал. Наполнителем может быть любой кормовой ингредиент, указанный в Chiba, Section 18: Diet Formulation and Common Feed Ingredients, Animal Nutrition Handbook, 3rd revision, pages 575-633, 2014.

"Нативный продукт" представляет собой продукт, продуцируемый генетически немодифицированным микроорганизмом. Например, этанол, ацетат и 2,3-бутандиол представляют собой нативные продукты *Clostridium autoethanogenum*, *Clostridium Ijungdahlii* и *Clostridium ragsdalei*. "Ненативный продукт" представляет собой продукт, продуцируемый генетически модифицированным микроорганизмом, однако, он не продуцируется генетически немодифицированным микроорганизмом, из которого происходит генетически модифицированный микроорганизм.

"Селективность" касается отношения производства целевого продукта к производству всех продуктов ферментации, продуцируемых микроорганизмом. Микроорганизм согласно данному изобретению может быть генетически сконструирован для продуцирования продуктов при определенной селективности или с минимальной селективностью. В одном варианте реализации целевой продукт составляет по меньшей мере около 5, 10, 15, 20, 30, 50 или 75% от всех продуктов ферментации, продуцируемых микроорганизмом согласно данному изобретению. В одном варианте реализации целевой продукт составляет по меньшей мере 10% от всех продуктов ферментации, продуцируемых микроорганизмом согласно данному изобретению, таким образом, что микроорганизм согласно данному изобретению обладает по меньшей мере 10%-ной селективностью по отношению к целевому продукту. В еще одном варианте реализации целевой продукт составляет по меньшей мере 30% от всех продуктов ферментации, продуцируемых микроорганизмом согласно данному изобретению, таким образом, что микроорганизм согласно данному изобретению обладает по меньшей мере 30%-ной селективностью по отношению к целевому продукту.

Культуру обычно поддерживают в водной культуральной среде, содержащей питательные вещества, витамины и/или минералы, достаточные для обеспечения роста микроорганизма. Водная культуральная среда предпочтительно представляет собой среду для анаэробного микробного роста, такую как минимальная среда для анаэробного микробного роста.

Для получения целевого продукта культивирование/ферментацию желательно проводить в соответствующих условиях. Как правило, культивирование/ферментацию проводят в анаэробных условиях. Условия реакции, которые следует учитывать, включают давление (или парциальное давление), температуру, скорость потока газа, скорость потока жидкости, pH среды, окислительно-восстановительный потенциал среды, скорость перемешивания (при использовании реактора непрерывного действия с перемешиванием), уровень инокулята, максимальные концентрации газового субстрата для обеспечения того, чтобы газ в жидкой фазе не стал ограничивающим фактором, и максимальные концентрации продукта во избежание ингибирования продукта. В частности, можно контролировать скорость введения субстрата для обеспечения того, чтобы концентрация газа в жидкой фазе не стала ограничивающим фактором, поскольку в условиях ограниченного количества газа культура может потреблять продукты.

Эксплуатация биореактора при повышенных давлениях обеспечивает повышенную скорость массопереноса газа из газовой фазы в жидкую фазу. Соответственно, в общем случае предпочтительно осуществлять культивирование/ферментацию при давлениях выше атмосферного давления. Кроме того, поскольку заданная скорость преобразования газа частично зависит от времени удерживания субстрата и время удерживания определяет необходимый объем биореактора, то использование систем под давлением может значительно уменьшить требуемый объем биореактора и, следовательно, капитальные затраты на оборудование для культивирования/ферментации. Это, в свою очередь, означает, что при поддержании в биореакторах повышенного давления, а не атмосферного давления можно уменьшить время удерживания, определяемое как объем жидкости в биореакторе, деленный на скорость подачи потока газа. Оптимальные условия реакции будут частично зависеть от конкретного используемого микроорганизма. Однако, в общем случае предпочтительно проводить ферментацию при давлении выше атмосферного давления. Кроме того, поскольку заданная скорость преобразования газа частично зависит от времени удерживания субстрата и достижение требуемого времени удерживания, в свою очередь, определяет необходимый объем биореактора, использование систем под давлением может значительно уменьшить требуемый объем биореактора и, следовательно, капитальные затраты на оборудование для ферментации.

Целевые продукты можно отделять или очищать от ферментационного бульона посредством любого подходящего процесса удаления, в котором используют способ или комбинацию способов, известных в данной области техники, включая, например, фракционную перегонку, вакуумную перегонку, выпаривание, испарение через полупроницаемую мембрану, отдувку газом, разделение фаз и экстракционную ферментацию, включая, например, жидкофазную экстракцию. В некоторых вариантах реализации целевые продукты выделяют из ферментационного бульона путем непрерывного удаления из биореактора

части бульона, отделения микробных клеток от бульона (обычно путем фильтрации) и выделения из бульона одного или более целевых продуктов. Спирты и/или ацетон можно выделять, например, путем перегонки. Кислоты можно выделять, например, путем адсорбции на активированном угле. Отделенные микробные клетки могут быть возвращены в биореактор. Бесклеточный пермеат, оставшийся после удаления целевых продуктов, также может быть возвращен в биореактор. Для восполнения среды перед ее возвратом в биореактор к бесклеточному пермеату можно добавлять дополнительные питательные вещества (такие как витамины группы В).

Описание

Авторы изобретения обнаружили, что путем интеграции процесса ферментации и/или процесса очистки сточных вод с процессом газификации эффективность одного или более процессов повышается. В частности, авторы изобретения определили потенциальные возможности интеграции для рециркуляции одного или более выходящих потоков, образующихся в процессе ферментации и/или процессе очистки сточных вод, в процесс газификации.

Один или более выходящих потоков предпочтительно выбраны из группы, состоящей из биогаза, образующегося в процессе очистки сточных вод, остаточного газа, образующегося в процессе ферментации, неиспользованного синтез-газа, образующегося в процессе газификации, микробной биомассы, образующейся в процессе ферментации, микробной биомассы, образующейся в процессе очистки сточных вод, неочищенного этанола, получаемого в процессе выделения продукта, сивушного масла, получаемого в процессе выделения продукта, воды, обедненной микробной биомассой, сточных вод, образующихся в процессе ферментации, и осветленной воды, получаемой в процессе очистки сточных вод. Один или более из этих выходящих потоков могут быть направлены в процесс газификации для получения потока синтез-газа, используемого в процессе газификации в качестве источника нагрева и/или используемого в процессе газификации для подавления потока синтез-газа. Этот поток синтез-газа предпочтительно подходит для ферментации газа.

Эти различные выходящие потоки образуются либо в, либо ниже по потоку от процесса ферментации. В процессе ферментации образуется поток сточных вод, содержащий органические метаболиты, такие как микробная биомасса, этанол, ацетат и 2-3-бутандиол, а также различные неорганические соединения, такие как соли и следы металлов. Этот поток сточных вод часто направляют в процесс очистки сточных вод. Типичный процесс очистки сточных вод включает в себя следующие этапы: (i) отделение микробной биомассы, которая представляет собой взвешенное твердое вещество; (ii) концентрация твердых веществ микробной биомассы в отдельном анаэробном биореакторе с длительным временем пребывания, приблизительно 30 дней; (iii) концентрация осветленного выходящего потока с уменьшенными количествами твердых веществ микробной биомассы, содержащих растворимые органические вещества, в более короткий период времени пребывания, приблизительно от двух до трех дней, в анаэробном биореакторе. Обычно эти анаэробные биореакторы потребляют большую часть, предпочтительно более 80% органического вещества в корме и продуцируют продукт биогаза. Продукт биогаза состоит в основном из метана (CH_4) и диоксида углерода (CO_2).

Этот продукт биогаза может быть полезен для выработки электроэнергии. Однако, чтобы использовать биогаз для выработки электроэнергии, биогаз обычно необходимо обработать с помощью одного или более модулей удаления. Кроме того, как показано ниже, использование микробной биомассы для получения биогаза оказалось относительно малозатратным использованием микробной биомассы по сравнению с возможностями газификации микробной биомассы.

В дополнение к вышеупомянутым этапам процесс очистки сточных вод может также включать в себя дополнительные этапы очистки после анаэробных биогенераторов. Обычно очищенный выходящий поток из анаэробных биореакторов подвергается дополнительной обработке, включая аэробную обработку, выделение струвита, выделение азота и в некоторых случаях обратный осмос. Осветленная вода, полученная в процессе очистки сточных вод, подходит для повторного использования и/или сброса. Одним из подходящих способов использования этой осветленной воды является рециркуляция осветленной воды в процесс ферментации и/или процесс газификации.

Хотя процесс очистки сточных вод позволяет успешно очищать сточные воды, образующиеся в процессе ферментации, для получения осветленной воды, органические метаболиты в потоке сточных вод часто создают несколько проблем. В частности, очистка микробной биомассы в потоке сточных вод с помощью процесса очистки сточных вод может создавать проблемы проектирования из-за (i) высокого содержания белка и, следовательно, высокого образования аммиака во время анаэробного сбраживания и (ii) большой площади участка, необходимого для проведения процесса очистки сточных вод.

Аммиак представляет собой проблему для анаэробного сбраживания, потому что аммиак связан с ингибированием метаногенеза во время процесса анаэробного сбраживания, если он имеет высокие концентрации. Было обнаружено, что ингибирующие концентрации аммиака находятся в диапазоне от 2 до 3 г/л. Это пороговое значение может быть значительно превышено, поскольку при сбраживании отделенной микробной биомассы концентрация аммиака может превышать 20 г/л. Таким образом, для обработки микробной биомассы в процессе очистки сточных вод часто требуется процесс отгонки аммиака для снижения концентрации аммиака ниже ингибирующих уровней.

Требование к большой площади участка представляет собой серьезную проблему в местностях, в которых земля стоит дорого. Для каждой составляющей процесса очистки сточных вод требуется значительная площадь пространства из-за значительных объемов, которые обрабатываются. Например, анаэробный биореактор с длительным временем пребывания может в некоторых случаях превышать 7000 м³.

Авторы изобретения обнаружили, что эти проблемы можно решить за счет рециркуляции по меньшей мере части микробной биомассы в процесс газификации. Чем меньше микробной биомассы направляется на анаэробное сбраживание, тем меньше аммиака образуется, и, следовательно, уменьшается и/или устраняется потребность в процессе отгонки аммиака. Кроме того, поскольку большие объемы выходящего потока, образующегося в процессе ферментации, направляются в процесс газификации, меньшие объемы выходящего потока направляются в процесс очистки сточных вод. При меньших объемах выходящего потока, обрабатываемого в процессе очистки сточных вод, требуемый объем и соответствующие требования к площади участка снижаются, что делает конструкцию более выгодной для местностей, в которых земля стоит дорого.

В дополнение к устранению вышеупомянутых проблем рециркуляция микробной биомассы в процесс газификации дает следующие выгодные результаты: (i) регенерируется большая часть энергии, содержащейся в биомассе; (ii) увеличивается соотношение H₂:CO в полученном потоке синтез-газа; (iii) содержание неорганических веществ, соединения металлов и щелочные элементы в микробной биомассе, для которых обычно требуются дополнительные этапы очистки в процессе очистки сточных вод, удобно собираются в процессе газификации как часть зольной фракции, для которой уже требуется утилизация, таким образом, снижается общий объем очистки отходов; и (iv) азот, содержащийся в биомассе, будет подвергаться реакции в газогенераторе, превращаясь в N₂, NH₃ и следы HCN, что хорошо интегрируется с существующими процессами удаления.

Авторы изобретения также неожиданно обнаружили прирост дохода при рециркуляции биомассы в газификацию по сравнению с использованием биомассы в получении биогаза. В частности, авторы изобретения обнаружили 321%-ное увеличение дохода при сравнении использования биомассы в синтез-газе с использованием биомассы при получении биогаза.

Этот процент прироста дохода лучше всего показан ниже в таблице, в которой приведена стоимость, создаваемая 20 ГДж/ч биомассы, получаемая посредством каждого пути.

	ГДж/ч биомассы	ГДж/ч газообразного продукта	ГДж/ч этанол	Стоимость продукта, \$/ГДж	Доход, \$/ч	% прироста дохода	Стоимость биомассы в \$/ГДж
Анаэробное сбраживание для получения биогаза	20	12	н/д	8	96,0	н/д	4,80
Газификация для получения синтез-газа	20	15	8,25	37,3	307,7	321%	15,39

Расчеты, представленные в приведенной выше таблице, сравнивают стоимость преобразования биомассы в биогаз посредством анаэробного сбраживания и биомассы в синтез-газ посредством газификации. Эффективность преобразования при получении биогаза из биомассы посредством анаэробного сбраживания составляет около 60%. Эффективность преобразования при получении синтез-газа из биомассы посредством газификации составляет около 75%, что может варьироваться в зависимости от используемой технологии газификации. ГДж/ч газообразного продукта представляет собой ГДж/ч биомассы, умноженное на соответствующую эффективность преобразования. ГДж/ч этанола представляет собой ГДж/ч газообразного продукта, умноженное на эффективность преобразования при ферментации газа. Эффективность преобразования при ферментации газа для получения этанола составляет, по скромным подсчетам, около 55%. При такой эффективности преобразования было обнаружено, что ГДж/ч этанола составляет 8,25. Текущая цена биогаза при отсутствии стимулов к возобновляемым источникам находится в диапазоне от \$4 в США до \$10 в Европейском союзе по состоянию на 5 ноября 2018 г. Для целей анализа используется цена \$8 за 1 ГДж биогаза (стоимость продукта \$8/ГДж). Цена низкоуглеродного этанола в настоящее время составляет, по состоянию на 5 ноября 2018 г., \$850/т этанола в Европейском союзе, \$1100/т этанола в Китае и \$1200/т этанола в США. Для целей анализа используется цена \$1000/т этанола, что эквивалентно \$37,30/ГДж. Доход, \$/ч представляет собой ГДж/ч газообразного продукта, умноженное на стоимость продукта, \$/ГДж. Указанный % прироста дохода

представляет собой сравнительное значение Дохода, \$/ч для Анаэробного сбраживания для получения биогаза по сравнению с Доходом, \$/ч для Газификации для получения синтез-газа. Стоимость биомассы в \$/ГДж показывает стоимость биомассы для выбранного процесса. Она рассчитывается путем деления Дохода, \$/ч на ГДж/ч биомассы. Как показано, использование биомассы для получения синтез-газа посредством газификации значительно увеличивает как доход, так и стоимость биомассы.

Дополнительное преимущество подачи микробной биомассы в процесс газификации состоит в том, что микробная биомасса может помочь обеспечить дополнительные количества синтез-газа, которые могут потребоваться для адекватного обеспечения процесса ферментации. Например, для подачи синтез-газа, необходимого для процесса ферментации этанола при производстве этанола в количестве 100000 т/год, требуется скорость подачи в газогенератор около 1200 т сухого вещества в день, что эквивалентно 50 т сухого вещества в 1 ч, исходя из текущих расчетных параметров. Биомасса, получаемая в процессе ферментации такого масштаба, обычно составляет от 1000 до 1200 кг/ч. Это значительное количество биомассы. Дополнительные количества синтез-газа, которые могут быть получены путем газификации биомассы, могут быть особенно полезными в ситуациях, когда сырье для газогенератора ограничено или когда цена на сырье является высокой.

Для биомассы, полученной в процессе ферментации, может потребоваться дополнительный этап сушки перед подачей в газогенератор, чтобы увеличить процент содержания биомассы. В зависимости от требований к газогенератору, для биомассы может требоваться сушка до момента, когда биомасса будет составлять более 20 мас. %.

Однако газификация биомассы с повышенным содержанием влаги имеет дополнительное преимущество, заключающееся в увеличении соотношения $H_2:CO$ в получаемом синтез-газе. При влажности около 15 мас. % в исходном сырье для газификации получаемый поток синтез-газа имеет соотношение $H_2:CO$, составляющее 1:1. Когда влажность в исходном сырье для газификации увеличивается до 40 мас. %, получаемый поток синтез-газа имеет соотношение $H_2:CO$, составляющее 2:1. Как указывалось ранее, увеличение соотношения $H_2:CO$ в потоке синтез-газа, подаваемом в процесс ферментации, приводит к увеличению эффективности процесса ферментации.

Для достижения вышеупомянутых преимуществ настоящее изобретение рециркулирует один или более из следующих выходящих потоков, выбранных из группы, состоящей из биогаза, образующегося в процессе очистки сточных вод, остаточного газа, образующегося в процессе ферментации, неиспользованного синтез-газа, образующегося в процессе газификации, микробной биомассы, образующейся в процессе ферментации, микробной биомассы, образующейся в процессе очистки сточных вод, неочищенного этанола, получаемого в процессе выделения продукта, сивушного масла, получаемого в процессе выделения продукта, воды, обедненной микробной биомассой, сточных вод, образующихся в процессе ферментации, и осветленной воды, получаемой в процессе очистки сточных вод. Один или более из этих выходящих потоков могут быть направлены в процесс газификации для получения потока синтез-газа, используемого в процессе газификации в качестве источника нагрева и/или используемого в процессе газификации для подавления получаемого синтез-газа. Этот поток синтез-газа предпочтительно подходит для ферментации газа.

На фиг. 1 показана схема интеграции процесса, изображающая интеграцию процесса 300 газификации, процесса 100 ферментации газа, процесса 400 выделения продукта и процесса 200 очистки сточных вод в соответствии с одним аспектом данного изобретения. Эти процессы предпочтительно интегрированы путем использования выходящих потоков, образующихся по меньшей мере в одном процессе, в качестве источника сырья по меньшей мере в еще одном процессе. Предпочтительно в процесс 300 газификации поступает сырье 301 для газификации, которое может представлять собой любой подходящий материал, способный к газификации с образованием потока 302 синтез-газа. В различных случаях сырье 301 для газификации состоит по меньшей мере частично из сортированных и/или несортированных твердых бытовых отходов. В других случаях сырье 301 для газификации состоит по меньшей мере частично из лесных и/или сельскохозяйственных отходов. В конкретных вариантах реализации сырье 301 для газификации состоит из комбинации двух или более из следующих составляющих: сортированных твердых бытовых отходов, несортированных твердых бытовых отходов, лесных отходов, сельскохозяйственных отходов, по меньшей мере одного выходящего потока, образующегося в процессе 100 ферментации, по меньшей мере одного выходящего потока, образующегося в процессе 400 выделения продукта, и по меньшей мере одного выходящего потока, образующегося в процессе 200 очистки сточных вод.

Предпочтительно в процесс 300 газификации поступает сырье 301 для газификации и образуется поток 302 синтез-газа, который подходит для ферментации в процессе 100 ферментации газа. В процессе 100 ферментации этот поток предпочтительно используют в качестве источника углерода для получения одного или более продуктов, которые могут по меньшей мере частично содержаться в одном или более выходящих потоках 102, 104. В различных случаях выходящий поток, образующийся в процессе 100 ферментации, представляет собой ферментационный бульон. Предпочтительно один или более продуктов, полученных в процессе 100 ферментации, удаляют и/или отделяют от ферментационного бульона в процессе 400 выделения продукта. Предпочтительно в процессе 400 выделения продукта удаля-

ются один или более продуктов 406 и образуется по меньшей мере один выходящий поток 402, 404, 408, который содержит сниженные количества по меньшей мере одного продукта. Этот выходящий поток может быть направлен по трубопроводу 402 в процесс 200 очистки сточных вод для получения по меньшей мере одного выходящего потока 202, который может быть рециркулирован в процесс 300 газификации и/или процесс 100 ферментации.

По меньшей мере в одном варианте реализации выходящий поток, образующийся в процессе 100 ферментации, представляет собой остаточный газ, образующийся в процессе 100 ферментации. Предпочтительно по меньшей мере часть этого остаточного газа направляют по трубопроводу 104 в процесс 300 газификации. По меньшей мере часть остаточного газа может быть направлена по трубопроводу 124 в процесс 300 газификации, и ее будут использовать как часть сырья 301 для газификации. По меньшей мере часть остаточного газа может быть направлена по трубопроводу 114 в процесс 300 газификации для подавления потока 302 синтез-газа.

По меньшей мере в одном варианте реализации выходящий газ, образующийся в процессе 100 ферментации, представляет собой ферментационный бульон. Предпочтительно по меньшей мере часть ферментационного бульона направляют по трубопроводу 102 в процесс 400 выделения продукта. По меньшей мере в одном варианте реализации в процессе 400 выделения продукта отделяют по меньшей мере часть микробной биомассы, полученной в процессе 100 ферментации. В различных случаях по меньшей мере часть микробной биомассы, которую отделяют от ферментационного бульона, рециркулируется в процесс 100 ферментации по трубопроводу 404. В различных случаях по меньшей мере часть микробной биомассы, которую отделяют от ферментационного бульона, направляют по трубопроводу 428 в процесс 300 газификации. Можно использовать по меньшей мере часть микробной биомассы как часть сырья 301 для газификации.

В различных случаях по меньшей мере часть потока сточных вод, содержащего ферментационный бульон, который может содержать микробную биомассу, может быть направлена из процесса 100 ферментации непосредственно по трубопроводу 104 в процесс 300 газификации без передачи в процесс 400 выделения продукта. По меньшей мере часть сточных вод может быть направлена по трубопроводу 124 в процесс 300 газификации для использования в качестве части сырья 301 для газификации. По меньшей мере часть ферментационного бульона может быть направлена по трубопроводу 114 в процесс 300 газификации для подавления потока 302 синтез-газа.

В случаях, когда ферментационный бульон обрабатывают в процессе 400 выделения продукта, по меньшей мере часть воды, обедненной микробной биомассой, полученной путем удаления микробной биомассы из ферментационного бульона, может быть возвращена в процесс 100 ферментации по трубопроводу 404 и/или направлена по трубопроводу 408 в процесс 300 газификации. По меньшей мере часть воды, обедненной микробной биомассой, может быть направлена по трубопроводу 428 в процесс 300 газификации для использования в качестве части сырья 301 для газификации. По меньшей мере часть воды, обедненной микробной биомассой, может быть направлена по трубопроводу 418 для подавления потока 302 синтез-газа. Кроме того, по меньшей мере часть выходящего потока, образующегося в процессе 400 выделения продукта, может быть направлена по трубопроводу 402 в процесс 200 очистки сточных вод. Предпочтительно выходящий поток, образующийся в процессе 400 выделения продукта, включает сниженные количества продукта и/или микробной биомассы.

Предпочтительно в процесс 200 очистки сточных вод поступает и обрабатывается выходящий поток, образующийся в одном или более процессах, для получения осветленной воды. Эта осветленная вода может быть направлена по трубопроводу 202 в один или более процессов. В определенных случаях по меньшей мере часть осветленной воды направляют по трубопроводу 212 в процесс ферментации. По меньшей мере часть осветленной воды может быть направлена по трубопроводу 232 в процесс 300 газификации, которую будут использовать как часть сырья 301 для газификации. По меньшей мере часть осветленной воды может быть направлена по трубопроводу 222 в процесс 300 газификации для подавления потока 302 синтез-газа.

В определенных случаях в процессе 200 очистки сточных вод образуется микробная биомасса как часть процесса очистки. По меньшей мере часть этой микробной биомассы может быть направлена по трубопроводу 232 в процесс 300 газификации. Предпочтительно в процессе 300 газификации используют по меньшей мере часть микробной биомассы, образующейся в процессе 200 очистки сточных вод, как часть сырья 301 для газификации.

В процессе 200 очистки сточных вод в качестве побочного продукта очистки микробной биомассы образуется биогаз. По меньшей мере часть этого биогаза может быть направлена по трубопроводу 202 в процесс 300 газификации. В определенных случаях по меньшей мере часть биогаза направляют по трубопроводу 232 в процесс 300 газификации, который будут использовать как часть сырья 301 для газификации. По меньшей мере часть биогаза может быть направлена по трубопроводу 222 в процесс 300 газификации для подавления потока 302 синтез-газа.

Предпочтительно в процесс 300 газификации поступает один или более выходящих потоков, образующихся в процессе 100 ферментации, процессе 400 выделения продукта и/или процессе 200 очистки сточных вод, и образуется поток 302 синтез-газа. Этот поток 302 синтез-газа предпочтительно подходит

для использования в качестве сырья для процесса 100 ферментации газа.

Чтобы подходить для использования в качестве сырья для процесса 100 ферментации газа, поток 302 синтез-газа предпочтительно должен иметь требуемый состав. В конкретных случаях синтез-газ 302, полученный в процессе 300 газификации, содержит один или более компонентов, которые необходимо удалить и/или преобразовать.

Типичные компоненты, находящиеся в потоке 302 синтез-газа, которые может потребоваться удалить и/или преобразовать, включают, без ограничения, соединения серы, ароматические соединения, алкины, алкены, алканы, олефины, соединения азота, фосфорсодержащие соединения, твердые частицы, твердые вещества, кислород, галогенированные соединения, кремнийсодержащие соединения, карбонилы, металлы, спирты, сложные эфиры, кетоны, пероксиды, альдегиды, эфиры и смолы. Эти компоненты могут быть удалены с помощью одного или более процессов удаления.

На фиг. 2 показана схема интеграции процесса, представленная на фиг. 1, дополнительно включающая процесс 500 удаления между процессом 300 газификации и процессом 100 ферментации газа, в соответствии с одним аспектом данного изобретения.

Предпочтительно процесс 500 удаления включает один или более из следующих модулей: модуль гидролиза, модуль удаления кислого газа, модуль дезоксигенирования, модуль каталитического гидрирования, модуль удаления частиц, модуль удаления хлорида, модуль удаления смол и модуль очистки от цианистого водорода.

При включении процесса 500 удаления по меньшей мере часть синтез-газа 302, полученного в процессе 300 газификации, направляют в процесс 500 удаления для удаления и/или преобразования по меньшей мере части по меньшей мере одного компонента, находящегося в потоке 302 синтез-газа. Предпочтительно процесс 500 удаления доводит компоненты до допустимых уровней для получения очищенного потока 502, пригодного для ферментации в процессе 100 ферментации.

В различных случаях процесс 500 удаления включает два или более модуля удаления, выбранных из группы, включающей модуль гидролиза, модуль удаления кислого газа, модуль дезоксигенирования, модуль каталитического гидрирования, модуль удаления частиц, модуль удаления хлорида, модуль удаления смол и модуль очистки от цианистого водорода. В определенных случаях один или более из этих модулей удаления используют для удаления из газового потока одного или более компонентов, которые могут оказывать неблагоприятное воздействие на находящиеся ниже по потоку процессы, например находящийся ниже по потоку процесс 100 ферментации и/или находящиеся ниже по потоку модули удаления, задействованные в процессе 500 удаления.

Один или более компонентов, удаленных и/или преобразованных в процессе 500 удаления, могут быть введены и/или сконцентрированы посредством газификации микробной биомассы. В определенных случаях в процессе 500 удаления происходит удаление аммиака (NH_3) и/или цианистого водорода (HCN). Этот аммиак и/или цианистый водород можно вводить и/или концентрировать, когда микробная биомасса подвергается газификации в процессе 300 газификации. Аммиак и цианистый водород могут быть получены из азота, содержащегося в микробной биомассе, который в процессе 300 газификации вступит в реакцию с преобразованием в N_2 , NH_3 и следы HCN .

Обычно поток синтез-газа, подаваемый в процесс 100 ферментации, является газообразным. Однако поток синтез-газа также может быть обеспечен в альтернативных формах. Например, поток синтез-газа может быть растворен в жидкости, насыщенной синтез-газом, которую затем можно подавать в процесс 100 ферментации. В качестве дополнительного примера синтез-газ может быть адсорбирован твердой подложкой.

Предпочтительно в процессе 100 ферментации используют C1-фиксирующие микроорганизмы для ферментации потока 302 синтез-газа и получения одного или более продуктов. C1-фиксирующий микроорганизм в процессе 100 ферментации обычно представляет собой карбоксидотрофную бактерию. В конкретных вариантах реализации карбоксидотрофная бактерия выбрана из группы, включающей *Moorella*, *Clostridium*, *Ruminococcus*, *Acetobacterium*, *Eubacterium*, *Butyribacterium*, *Oxobacter*, *Methanosarcina*, *Methanosarcina* и *Desulfotomaculum*. В различных вариантах реализации карбоксидотрофная бактерия представляет собой *Clostridium autoethanogenum*.

В определенных случаях один или более процессов интегрируются посредством использования по меньшей мере части по меньшей мере одного выходящего потока, образующегося в одном процессе, в качестве источника нагрева по меньшей мере для одного другого процесса.

На фиг. 3 показана схема интеграции процесса, изображающая интеграцию процесса 300 газификации, процесса 100 ферментации газа, процесса 400 выделения продукта и процесса 200 очистки сточных вод в соответствии с одним аспектом данного изобретения. В различных случаях эти процессы интегрируются путем использования по меньшей мере одного выходящего потока, образующегося по меньшей мере в одном процессе, в качестве источника нагрева по меньшей мере в одном другом процессе. В конкретных вариантах реализации биогаз, образующийся в процессе 200 очистки сточных вод, используют в качестве источника нагрева для одного или более процессов. Предпочтительно по меньшей мере часть биогаза, образующегося в процессе 200 очистки сточных вод, используют в качестве источника нагрева для процесса 300 газификации. В определенных случаях в процессе 300 газификации используют по

меньшей мере часть биогаза, образующегося в процессе 200 очистки сточных вод, для плавления по меньшей мере части шлака, образующегося в процессе 300 газификации. В одном или более вариантах реализации по меньшей мере часть биогаза, образующегося в процессе 200 очистки сточных вод, используют в качестве источника нагрева для процесса 100 ферментации газа. В одном или более вариантах реализации по меньшей мере часть биогаза, образующегося в процессе 200 очистки сточных вод, используют в качестве источника нагрева для процесса 400 выделения продукта. В одном или более вариантах реализации по меньшей мере часть биогаза, образующегося в процессе 200 очистки сточных вод, используют в качестве источника нагрева для процесса 500 удаления.

В различных случаях поток биогаза, образующийся в процессе 200 очистки сточных вод, направляют по трубопроводу 202 по меньшей мере в один процесс 600 удаления перед отправкой в один или более процессов. Предпочтительно процесс 600 удаления снижает количество по меньшей мере одного соединения серы в потоке биогаза.

При включении процесса 600 удаления после процесса 200 очистки сточных вод по меньшей мере часть биогаза, получаемого в процессе 200 очистки сточных вод, направляют в процесс 600 удаления для удаления и/или преобразования по меньшей мере части по меньшей мере одного компонента, находящегося в потоке биогаза. Предпочтительно процесс 600 удаления доводит компоненты до допустимых уровней, чтобы получить очищенный поток 642, 612, 622 и/или 632, подходящий для использования в последующих одном или более процессах 400, 100, 500 и/или 300 соответственно.

В конкретных вариантах реализации остаточный газ, образующийся в процессе 100 ферментации, используют в качестве источника нагрева для одного или более процессов. Предпочтительно по меньшей мере часть остаточного газа, образующегося в процессе 100 ферментации, используют в качестве источника нагрева для процесса 300 газификации. В определенных случаях в процессе 300 газификации используют по меньшей мере часть остаточного газа, образующегося в процессе 100 ферментации, для плавления по меньшей мере части шлака, полученного в процессе 300 газификации. В одном или более вариантах реализации по меньшей мере часть остаточного газа, образующегося в процессе 100 ферментации, используют в качестве источника нагрева для процесса 400 выделения продукта. В различных случаях остаточный газ, получаемый в процессе 100 ферментации, направляют по меньшей мере в один процесс удаления перед отправкой в один или более процессов.

В конкретных вариантах реализации неиспользованный синтез-газ, образующийся в процессе 300 газификации, используют в качестве источника нагрева для одного или более процессов. Предпочтительно по меньшей мере часть неиспользованного синтез-газа, образующегося в процессе 300 газификации, используют в качестве источника нагрева для процесса 300 газификации. В некоторых случаях в процессе 300 газификации используют по меньшей мере часть неиспользованного синтез-газа, образующегося в процессе 300 газификации, для плавления по меньшей мере части шлака, полученного в процессе 300 газификации. В одном или более вариантах реализации по меньшей мере часть неиспользованного синтез-газа, образующегося в процессе 300 газификации, используют в качестве источника нагрева для процесса 400 выделения продукта. В различных случаях неиспользованный синтез-газ, получаемый в процессе 300 газификации, направляют в по меньшей мере один процесс удаления перед отправкой в один или более процессов.

Процесс 100 ферментации предпочтительно позволяет получать разнообразные продукты. Эти продукты предпочтительно могут быть отделены посредством процесса 400 выделения продукта. В различных случаях по меньшей мере часть по меньшей мере одного из продуктов, получаемых в процессе 100 ферментации, можно использовать в качестве источника для одного или более процессов. В определенных случаях по меньшей мере часть этанола, полученного в процессе 400 выделения продукта, используют в качестве источника нагрева для процесса 300 газификации. Предпочтительно этанол, используемый в качестве источника нагрева для одного или более процессов, представляет собой неочищенный этанол, не соответствующий техническим требованиям для топливного этанола. В определенных случаях в процессе 300 газификации используют по меньшей мере часть неочищенного этанола, полученного в процессе 400 выделения продукта, для плавления по меньшей мере части шлака, полученного в процессе 300 газификации.

В определенных случаях в процессе 100 ферментации получают сивушное масло. Это сивушное масло может быть выделено в процессе 400 выделения продукта любыми подходящими способами. Например, в ректификационной колонне установки для перегонки. По меньшей мере в одном варианте реализации по меньшей мере часть сивушного масла, полученного в процессе 400 выделения продукта, используют в качестве источника нагрева для одного или более процессов. В определенных случаях по меньшей мере часть сивушного масла, полученного в процессе 400 выделения продукта, используют в качестве источника нагрева для процесса 300 газификации. Предпочтительно в процессе 300 газификации используют по меньшей мере часть сивушного масла, полученного в процессе 400 выделения продукта, для плавления по меньшей мере части шлака, полученного в процессе 300 газификации.

Все ссылки, в том числе публикации, патентные заявки и патенты, приведенные в данном документе, включены в данный документ посредством ссылки в той же степени, как если бы каждая ссылка была отдельно и конкретно указана для включения посредством ссылки и изложена в данном документе в

полном объеме. В данном описании ссылка на любой известный уровень техники не представляет собой и не должна рассматриваться как признание того, что такой известный уровень техники является частью общедоступных известных знаний в области деятельности в любой стране.

Следует считать, что применение терминов в единственном числе и аналогичных ссылок в контексте описания настоящего изобретения (особенно в контексте следующей формулы изобретения) включает как единственное, так и множественное число, если только в настоящем документе не указано иное или это явно не противоречит контексту. Термины "содержащий", "имеющий", "включающий" и "охватывающий" следует рассматривать как неограничивающие термины (т.е. означающие "включая, без ограничений"), если не указано иное. Термин "состоящий по существу из" ограничивает объем композиции, процесса или способа указанными материалами или этапами или тем, что не оказывает существенного влияния на основные и новые характеристики композиции, процесса или способа. Использование альтернативы (например, "или") следует понимать как означающее одну, обе или любую из вышеуказанных комбинаций альтернатив. Используемый в данном документе термин "около" означает $\pm 20\%$ от приведенного диапазона, значения или структуры, если не указано иное.

Перечисление диапазонов значений в данном документе предназначено просто для использования в качестве сокращенного способа отдельной ссылки на каждое отдельное значение, попадающее в этот диапазон, если в данном документе не указано иное, и каждое отдельное значение включено в данное описание, как если бы оно было отдельно приведено в данном документе. Например, любой диапазон концентраций, диапазон процентов, диапазон соотношений, диапазон целых чисел, диапазон размеров или диапазон толщин следует понимать как включающий значение любого целого числа в приведенном диапазоне и, если это уместно, его долей (например, одной десятой и одной сотой целого числа), если не указано иное.

Все способы, описанные в данном документе, могут быть выполнены в любом подходящем порядке, если в данном документе не указано иное или иное явно не противоречит контексту. Использование любых возможных примеров или вводных слов перед примером (например, "такой как"), приведенных в данном документе, предназначено просто для лучшего освещения данного изобретения и не налагает ограничение на объем данного изобретения, если не заявлено иное. Ни одно выражение, приведенное в данном описании, не следует понимать как указание на какой-либо незаъявленный элемент как необходимый для практической реализации данного изобретения.

В данном документе описаны предпочтительные варианты реализации настоящего изобретения. Вариации этих предпочтительных вариантов реализации станут очевидными для специалистов в данной области техники при ознакомлении с представленным выше описанием. Авторы изобретения ожидают, что квалифицированные специалисты будут использовать такие вариации при необходимости, и авторы изобретения предполагают, что настоящее изобретение будет осуществляться на практике иначе, чем конкретно описано в данном документе. Соответственно, настоящее изобретение включает все модификации и эквиваленты объекта изобретения, приведенные в прилагаемой формуле изобретения, как это разрешено действующим законодательством. Кроме того, любая комбинация описанных выше элементов во всех своих возможных вариациях охватывается настоящим изобретением, если в данном документе не указано иное или иное явно не противоречит контексту.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Интегрированный способ, включающий:

- a) направление углеродистого материала в процесс газификации для получения потока синтез-газа, содержащего CO и H₂;
- b) направление потока синтез-газа в процесс ферментации, включающий биореактор, содержащий C1-фиксирующую бактерию в жидкой питательной среде, для получения выходящего потока, содержащего по меньшей мере один продукт ферментации и микробную биомассу;
- c) направление выходящего потока в зону выделения продукта для получения потока, содержащего микробную биомассу, потока продуктов, содержащего по меньшей мере часть по меньшей мере одного продукта ферментации, потока побочных продуктов, содержащего сивушное масло, и потока сточных вод, содержащего микробную биомассу; и
- d) направление по меньшей мере части по меньшей мере одного потока, выбранного из потока продуктов, потока побочных продуктов, потока, содержащего микробную биомассу, потока сточных вод или их комбинаций в процесс газификации.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что поток продуктов содержит неочищенный этанол и по меньшей мере часть потока продуктов, содержащего неочищенный этанол, направляют в газогенератор для использования в качестве источника нагрева.

3. Способ по п.2, отличающийся тем, что по меньшей мере часть потока продуктов, содержащего неочищенный этанол, применяют в качестве источника нагрева для плавления по меньшей мере части шлака, полученного в процессе газификации.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что по меньшей мере часть потока сточных вод направляют в

процесс газификации и вводят в поток синтез-газа, полученный в зоне газификации, для снижения температуры потока синтез-газа.

5. Способ по п.4, отличающийся тем, что температуру потока синтез-газа снижают по меньшей мере на 100°C.

6. Способ по п.1, отличающийся тем, что по меньшей мере часть потока сточных вод направляют в процесс газификации и заменяют ею по меньшей мере часть технологической воды, необходимой для процесса газификации.

7. Способ по п.6, отличающийся тем, что технологическую воду, необходимую для процесса газификации, уменьшают по меньшей мере на 45%.

8. Способ по п.1, дополнительно включающий направление по меньшей мере части потока сточных вод, содержащего микробную биомассу, в процесс очистки сточных вод для получения потока биогаза и потока осветленной воды и направление потока биогаза в газогенератор.

9. Способ по п.8, отличающийся тем, что поток биогаза используют в газогенераторе в качестве источника тепла.

10. Способ по п.9, отличающийся тем, что биогаз используют в газогенераторе в качестве источника нагрева для плавления по меньшей мере части шлака, образующегося в процессе газификации.

11. Способ по п.8, отличающийся тем, что поток осветленной воды направляют в процесс газификации и вводят в поток синтез-газа, полученный в зоне газификации, для снижения температуры потока синтез-газа.

12. Способ по п.11, отличающийся тем, что температуру потока синтез-газа снижают по меньшей мере на 100°C.

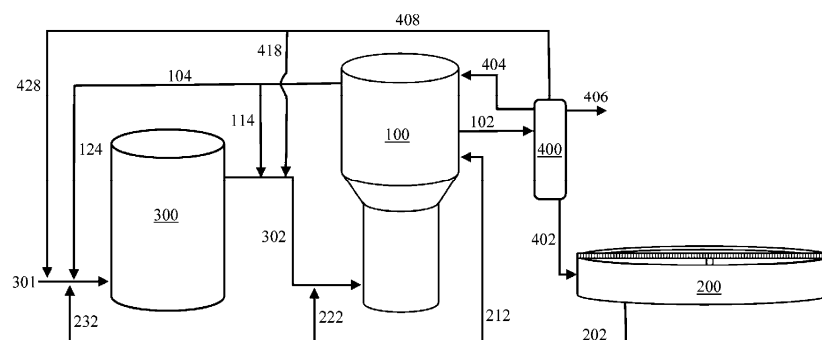
13. Способ по п.8, отличающийся тем, что биогаз содержит метан и метан подвергают риформингу в газогенераторе с получением CO и H₂.

14. Способ по п.1, отличающийся тем, что по меньшей мере часть потока побочных продуктов, содержащего сивушное масло, направляют в газогенератор и используют в качестве источника нагрева.

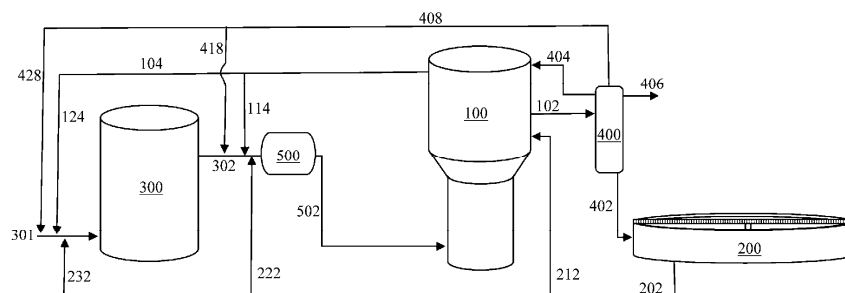
15. Способ по п.1, отличающийся тем, что поток, содержащий биомассу, направляют в зону сушки для получения высушенной биомассы и высушенную биомассу направляют в процесс газификации.

16. Способ по п.15, отличающийся тем, что содержание воды в высушенной биомассе составляет от более 20 до примерно 40 мас. %.

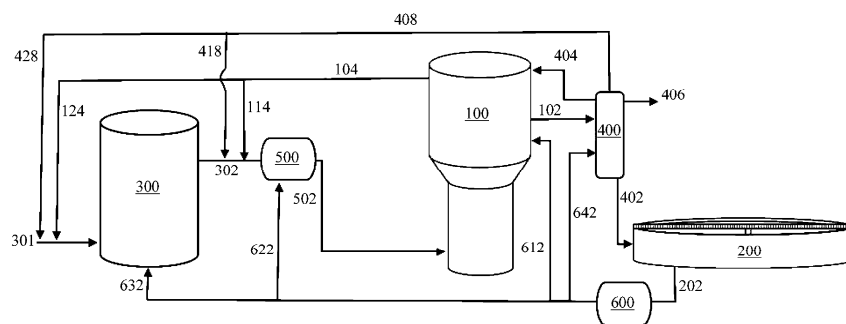
17. Способ по п.1, отличающийся тем, что C1-фиксирующая бактерия выбрана из группы, состоящей из Moorella, Clostridium, Ruminococcus, Acetobacterium, Eubacterium, Butyribacterium, Oxobacter, Methanosarcina и Desulfotomaculum.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Евразийская патентная организация, ЕАПВ
Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2